



Акционерное общество «КОМПОЗИТ»

Пионерская ул., д. 4, г. Королёв, Московская область,
Россия, 141070

Телеграф БЕРЕЗА

тел. (495) 513-20-28, 513-23-29
канцелярия 513-22-56, факс (495) 516-06-17
e-mail: info@kompozit-mv.ru

ОКПО 56897835, ОГРН 1025002043813, ИНН / КПП 5018078448 / 501801001

_____ исх. № _____

на № _____ от _____

Отзыв

на автореферат диссертации Агеева Максима Игоревича «Получение порошков жаропрочных никелевых сплавов и их применение в аддитивных технологиях», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Жаропрочные никелевые сплавы представляют собой класс материалов, наиболее востребованных в современном двигателестроении в авиационной, ракетно-космической и энергетической отраслях промышленности. Высокая востребованность ЖНС в современном двигателестроении обусловлена превосходным комплексом механических и эксплуатационных свойств этих сплавов, таких как высокая жаропрочность, усталостная прочность, жаростойкость, износостойкость, кратковременная и длительная прочность при температурах до 800-1100 °С.

Основной сложностью при производстве деталей из жаропрочных никелевых сплавов является их плохая обрабатываемость, которая связана с высокой прочностью данных сплавов при комнатной температуре и наличием в микроструктуре сплавов частиц твердых абразивных карбидов типа MC и M₂₃C₆, что приводит к износу инструмента и усложняет процесс механической обработки. Перспективным направлением работ в области дальнейшего совершенствования технологий производства жаропрочных никелевых сплавов является переход к современным методам аддитивного производства, позволяющим получать изделия конечной формы с минимальным применением лезвийной обработки. К данным технологиям аддитивного производства относятся селективное лазерное сплавление (СЛС) и прямое лазерное выращивание (ПЛВ).

Технология получения порошкового материала методами СЛС и ПЛВ должна обеспечивать изготовление порошка сферической или округлой формой, хорошими технологическими свойствами (текучесть, насыпная плотность) и узким

гранулометрическим составом. Основными методами получения порошков являются газовая атомизация (ГА) и плазменное центробежное распыление (ПЦР). Технология ПЦР позволяет получать более качественные порошки сферической формы узкой фракции, но является более затратной за счет дополнительной подготовки распыляемых электродов и менее производительной. При производстве порошков методом ГА невозможно получить порошки без сателлитов. Из-за разности скоростей кристаллизации порошковые частицы меньшего размера приобретают большую начальную скорость в процессе распыления и, мгновенно кристаллизуясь, бомбардируют крупные частицы. В данной работе рассмотрено перспективное направление получения порошков, которое включает в себя распыление порошков методом ГА и последующую механическую обработку для удаления сателлитов и овализации порошков.

В качестве альтернативы никелевым сплавам в работе также рассмотрены интерметаллидные сплавы на основе моноалюминиды никеля, обладающие низкой плотностью, высокой теплопроводностью, термостабильностью, стойкостью к окислению до 1000 °С. Однако их промышленное применение ограничено низкой пластичностью и трещиностойкостью, что затрудняет механическую обработку данных сплавов резанием. Перспективной является интегральная технология получения сферических порошков на основе моноалюминиды никеля для применения в технологии СЛС, которая включает в себя переделы по получению литых полуфабрикатов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), измельчение, классификацию и плазменную сфероидизацию.

В работе установлено, что при водопадном режиме обработки распыленных порошков никелевых жаропрочных сплавов марки ЭП648 и ВЖ159 в шаровой вращающейся мельнице происходит удаление и пластическая деформация сателлитов, что способствует овализации частиц, росту насыпной плотности на 0,73 г/см³, плотности утряски на 0,62 г/см³ и текучести на 4,5 с. На опытной партии порошка ВЖ159 проведена апробация способа механической обработки, в результате которой насыпная плотность увеличилась с 4,32 до 4,91 г/см³, плотность утряски – с 5,07 до 5,48 г/см³, текучесть – 20 до 16 с. В АО «Русполимет» на установке «ИЛИСТ-Л» методом ПЛВ построены модельные образцы турбинной лопатки 5-й ступени с плотной литой бездефектной структурой и точным геометрическим соответствием цифровой модели.

Высокая практическая значимость разработки подтверждается выпущенной технологической инструкцией ТИ 59-11301236-2023, актуальность работы – проведением комплексных исследований полученных порошков по предложенной технологии и полученных СЛС и ПЛВ-образцов в рамках выполнения научных проектов:

– Государственное задание Министерства науки и высшего образования РФ, проект № 0718-2020-0034 (тема 3164024), 2020-2024.

– Проект Российского научного фонда № 19-79-10226: «Разработка нового класса жаропрочных интерметаллидных сплавов и технологий получения узкофракционных порошков для аддитивных технологий производства ответственных деталей газотурбинных двигателей» (тема 8164307), 2019-2023.

– Хозяйственный договор № 83-04/0445/19 от 08.08.2019: «Научно-технологическое сопровождение процесса изготовления продукции ПАО «Русполимет» (тема 1340019), 2019-2023.

По материалам диссертационной работы имеется 17 публикаций, в том числе 6 статей в журналах из перечня ВАК и входящих в базы данных Scopus, Web of Science, 10 тезисов докладов в сборниках трудов международных конференций и 1 «Ноу-хау».

Представленные результаты достоверны, поскольку теоретические исследования выполнялись с использованием базовых положений и фундаментальных основ современного порошкового материаловедения, а экспериментальные – с применением стандартных и оригинальных методик, современной технологической и аналитической аппаратуры.

К автореферату имеются следующие замечания:

1) В главе 3 работы представлено описание объемного эксперимента по разработке режимов комбинированной обработки порошков для улучшения технологических свойств. При этом не приведены результаты исследования изменения химического состава порошков и содержания газовых примесей в процессе механического воздействия в шаровой мельнице. Происходит ли изменение химического состава?

2) В таблице 19 представлены механические свойства ПЛВ-образцов из сплава ВЖ159. Для сравнения можно было также привести имеющиеся в литературе данные о свойствах материала из сплава ВЖ159, полученного по другим технологиям. Чем объясняется низкий показатель относительно удлинения для синтезированных ПЛВ-образцов?

3) Для образцов, полученных по технологии аддитивного производства, характерной особенностью является анизотропия структуры и свойств. Какие методы устранения (уменьшения) анизотропии могут быть применены для исследуемых сплавов в рамках данной работы?

Работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Агеев Максим Игоревич

заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Кандидат технических наук, начальник сектора аддитивных технологий АО «Композит».
Даю согласие на обработку персональных данных.

04.12.2023 г



Басков Федор Алексеевич

Подпись Баскова Федора Алексеевича удостоверяю
Начальник отдела кадров АО «Композит»



И.Н. Калистая

Басков Федор Алексеевич, к.т.н., специальность 2.6.5 – Порошковая металлургия и
композиционные материалы; начальник сектора аддитивных технологий АО «Композит».

Адрес: 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Пионерская, д. 4.

Телефон: 8 (495) 513 23 89

Адрес электронной почты: info@kompozit-mv.ru